

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Campus Sorocaba

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

Relatório final de Iniciação Científica PIBIC 2018-2019

## **Dimensionamento e estudo da viabilidade de implementação de painéis solares fotovoltaicos no campus da Universidade Federal de São Carlos.**

### Bolsista:

Thiago Teixeira Matheus

Estudante de Engenharia de Produção pela Universidade Federal  
de São Carlos UFSCar – Campus Sorocaba

### Orientadora:

Profa. Dra. Denise Aparecida Tallarico Guelli Lopes

Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Produção  
de Sorocaba, DEP – So

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia – CCGT

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Sorocaba

2019

## RESUMO

Das diferentes fontes de energia utilizadas pelo homem, àquelas advindas de recursos não renováveis, associadas principalmente ao uso de combustível fóssil ainda são amplamente exploradas. Diante deste fato, nota-se uma preocupação cada vez maior com a provável escassez futura destes recursos, que se não forem geridos de modo adequado e sustentável, deverão se tornar insuficientes para atender a demanda mundial, podendo acarretar em conflitos e privações principalmente às pessoas de classes sociais mais baixas. Sendo assim, a procura por tecnologias e métodos diferentes para se gerar energia a partir de fontes renováveis têm aumentado, de modo que a energia solar aparece com certo destaque como uma alternativa a ser adotada para a geração de energia limpa. Este projeto consistiu na realização de um estudo referente à viabilidade técnica e econômica da implementação de painéis solares, a fim de suprir parte da demanda energética no campus da UFSCar.

**Palavras-chave:** *Energia renovável, Sustentabilidade, Energia fotovoltaica, Meio ambiente, Viabilidade econômica.*

## 1. INTRODUÇÃO

Como resultado do aumento populacional, bem como dos avanços tecnológicos e sociais, a demanda energética ao redor do mundo têm crescido com o passar do tempo, de modo que este aumento deverá persistir ao longo das próximas décadas.

Uma vez que a matriz energética brasileira e de outros países está intimamente relacionada com o uso de combustíveis fósseis, diferentes autores apontam que o aumento no consumo de energia deve acarretar diretamente na aceleração dos impactos ambientais e mudanças climáticas observadas no planeta.

Deste modo, se faz necessário que as autoridades e o próprio mercado proponham diferentes estratégias e alternativas a fim de se atingir uma transição energética nos próximos anos. Dentre estas alternativas destaca-se a busca por uma exploração maior do uso de fontes renováveis de energia.

Ainda que muitas dessas alternativas demandem investimentos mais altos quando comparado com as fontes mais exploradas atualmente, através de avanços tecnológicos e principalmente de incentivos fornecidos pelos governos, a geração de energia a partir de fontes renováveis tende a se tornar cada vez mais competitiva e acessível com o passar dos anos, como vem acontecendo.

No Brasil a matriz de energia elétrica é composta significativamente por fontes renováveis de energia, sendo amplamente explorada a hidroeletricidade. Entretanto, nos períodos de seca fica evidente a necessidade de se diversificar a matriz energética renovável, o que leva ao uso de fontes alternativas de energia como a eólica, solar e biomassa.

Em países mais desenvolvidos, a busca por modelos sustentáveis para geração de energia é cada vez maior, visando reduzir os impactos ambientais gerados e promovendo o uso racional dos recursos renováveis e não renováveis. Tendo em vista que estes não possuem o mesmo potencial hidroelétrico brasileiro, a exploração principalmente da fonte solar se encontra em um estágio mais avançado do que o observado internamente no país.

É válido ressaltar que conforme a ANEEL (2008) aponta, praticamente todas as fontes de energia (dentre elas hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis, etc.) são formas indiretas de energia solar

Visando estimular a utilização da fonte solar para geração de energia e acelerar o desenvolvimento do mercado fotovoltaico, o governo brasileiro têm utilizado diferentes estratégias para promover a instalação de módulos fotovoltaicos em residências, empreendimentos e até órgãos públicos em todo o país.

Como consequência das estratégias e incentivos adotados pelo governo, nota-se um crescimento recente do número de sistemas fotovoltaicos instalados em todo o território nacional, com destaque para alguns estados da região sudeste, que apresentam a maior quantidade de sistemas instalados, bem como energia gerada a partir da fonte solar.

Além disso, com a redução dos preços dos equipamentos que compõem um sistema fotovoltaico, a tendência é que se aumente quantidade módulos fotovoltaicos instalados e, conseqüentemente, a energia gerada a partir desta fonte renovável.

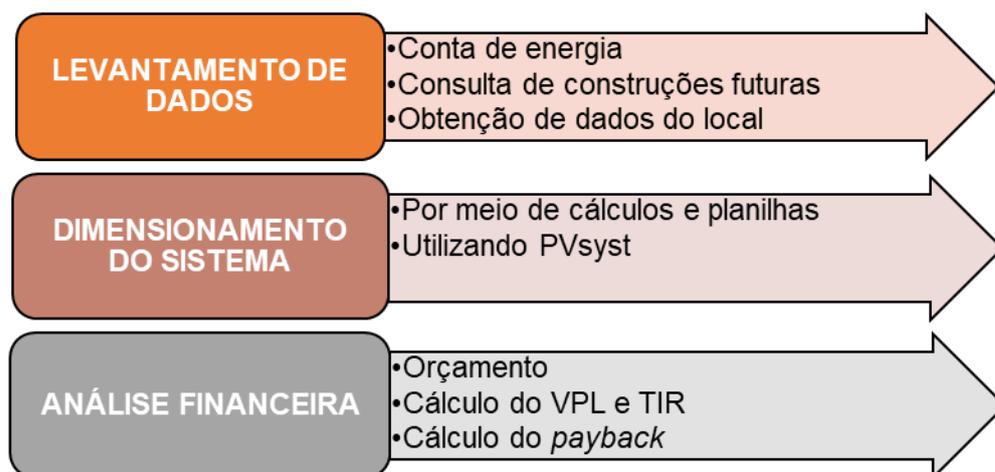
Desta forma, se faz importante realizar o estudo da viabilidade técnica e econômica de se implementar um sistema fotovoltaico, de modo a assegurar que o investimento feito através da compra, instalação e manutenção de equipamentos, seja recuperado por meio da energia gerada dentro de um prazo aceitável.

Frente a este cenário, o presente estudo visa estimular o aumento da sustentabilidade no campus da Universidade Federal de São Carlos, avaliando a viabilidade, tanto pelo aspecto físico como pelo aspecto econômico, da implementação de painéis solares a fim de atender ao menos parte da demanda energética requerida pelo campus.

O trabalho se encontra dividido em diferentes seções, que abordam a apresentação da metodologia utilizada e resultados obtidos, finalizando com uma conclusão acerca do projeto desenvolvido.

## 2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a execução deste projeto, foram desenvolvidas basicamente três etapas, envolvendo diferentes atividades dentro de cada uma delas. Os passos realizados ao longo deste estudo estão representados na figura a seguir:



**Figura 1:** Passos adotados para execução do projeto. Fonte: Elaboração própria.

## 2.1 Levantamento de dados

### ○ Conta de Energia

A primeira etapa executada durante a fase de levantamento de dados consistiu na obtenção da conta de energia, sendo esta, responsável pelo levantamento de informações como demanda energética, valor pago pelo kWh, histórico de consumo, e assim por diante.

Ao contatar a prefeitura do campus, a mesma prontamente encaminhou via e-mail a conta de energia referente ao mês de outubro de 2018. Entretanto, a conta exibe o consumo energético total do campus e não exclusivo do prédio ao qual este projeto se aplica, o que se apresentou como uma potencial limitação para o desenvolvimento deste.

Desta forma, apresentaram-se duas opções para que se estimasse precisamente a demanda energética exclusiva para o prédio utilizado como objeto de estudo: por meio de um rateio do consumo agregado do campus, através das construções estabelecidas no mesmo, ou então, baseando-se na potência consumida pelos principais equipamentos eletrônicos dispostos no prédio estudado e estimando a taxa de utilização dos mesmos.

Optou-se pela segunda estratégia, de modo que para uma boa execução desta se fez necessária a realização das seguintes atividades:

1. Levantamento da quantidade de lâmpadas, projetores e condicionadores de ar alocados nas salas, corredores e banheiros do prédio;
2. Definição do tempo diário, semestral e anual de utilização de cada sala e seus equipamentos, permitindo a obtenção da demanda média mensal e diária.

Apenas projetores, lâmpadas e aparelhos de ar condicionado instalados foram levados em consideração, de modo que se relevou o consumo energético proveniente de outras fontes e equipamentos de menor potência.

Para estimar de maneira mais precisa a energia total consumida no prédio, primeiramente verificou-se a marca e modelo dos equipamentos, o que foi feito de modo presencial. Com base nos dados levantados, obteve-se a potência de cada um dos aparelhos por meio de consulta feita aos seus respectivos catálogos e manuais, encontrados na internet.

Também se fez necessário levantar a quantidade instalada dos mesmos, o que foi feito por meio da solicitação feita à prefeitura do campus, para que a

mesma encaminhasse planta contendo as instalações elétricas do prédio estudado.

Feito isto, estimou-se o tempo semanal de utilização para cada um destes equipamentos, o que foi feito com base na consulta realizada no sistema de agendamento de salas (SAS), disponibilizado pela UFSCar.

Com base nos horários agendados em diferentes meses do primeiro e segundo semestre de 2018, foi definido o tempo de utilização de cada um dos recintos do prédio. Desta forma, adotaram-se algumas premissas:

- Durante o período no qual uma sala estava reservada para uso, foi considerado que todas as lâmpadas, projetores e refrigeradores de ar da mesma se encontravam funcionando;
- Foi definido um padrão semanal de ocupação das salas para cada semestre, baseando-se no agendamento feito em dias aleatórios dos diferentes meses que compõem cada um dos semestres letivos.
- Os tempos totais de utilização semanal para cada sala do prédio foram divididos por 5 dias úteis, chegando-se ao tempo de ocupação diário para cada uma das salas no primeiro e segundo semestre letivos;
- Baseado nos 200 dias letivos por ano, multiplicou-se o tempo diário de utilização de cada sala obtido, pelos 100 dias letivos considerados para cada um dos dois semestres anuais.
- Nas salas em que os técnicos e prestadores de serviço estão alocados, o tempo de funcionamento diário foi definido com base em entrevistas feitas com os funcionários do setor. Enquanto a sala em que fica a secretaria funciona por 8 horas diárias, a sala dos técnicos administrativos funciona 14 horas por dia, durante o período letivo. Uma vez que os servidores se alternam em suas férias (de modo que apenas em feriados e finais de semanas, as salas em que estes trabalham não funciona), adicionou-se mais 65 dias de funcionamento ao ano, totalizando 265 dias de consumo e 100 dias sem qualquer demanda energética proveniente destas instalações.
- Para as áreas em comum do prédio (corredores e banheiros) foi considerado que todas as lâmpadas funcionam durante 4 horas diárias ao longo dos 200 dias letivos anuais, ao passo que durante os 65 dias

não letivos em que os funcionários estão presentes no prédio, estas funcionariam por 3 horas diárias, totalizando 265 dias de utilização ao ano.

Deste modo, obteve-se a demanda energética anual para o prédio utilizado como objeto de estudo. Nota-se por meio das premissas adotadas, que optou-se pelo superdimensionamento da demanda energética.

Dado que a produção energética advinda do sistema fotovoltaico à ser implementado suprirá apenas uma pequena parcela da demanda total do campus, priorizou-se dimensioná-lo de modo que este seja capaz de gerar um excedente de energia (com relação ao prédio), que por sua vez poderá ser convertido em crédito para a Universidade ou utilizado em outro prédio.

Conforme Cari e Lemes (2019), um sistema não deve ser projetado para gerar crédito excedente em relação à demanda, de modo que citando a resolução nº 414/2010 da ANEEL, o autor aponta que deve-se pagar, ainda que não se consuma a energia fornecida pela rede elétrica, o custo de disponibilidade da mesma, que remete aos valores mínimos cobrados pela disponibilização de energia, variando conforme o padrão de conexão com a rede.

No caso avaliado, o padrão de conexão adotado é o trifásico, o que significa que deve-se dimensionar o sistema para produzir mensalmente 100 kWh à menos do que a demanda energética, uma vez que este valor deverá ser pago à concessionária mesmo sem o consumo da energia disponibilizada pela mesma. Isto é chamado custo de disponibilidade.

Sendo assim, somou-se o consumo total energético referente à cada semestre letivo de 2018 com o consumo previsto para o período de férias, chegando-se à uma demanda energética anual da edificação.

Dividindo pelos 12 meses, foi possível obter a demanda média mensal energética, da qual se descontou 100 kWh em detrimento do custo de disponibilidade.

A fim de se ajustar o sistema aos dados solarimétricos levantados, dividiu-se a demanda energética anual obtida pelos 365 dias que compõem este, de modo a facilitar a etapa de dimensionamento do sistema, que utiliza

como base, a média diária de energia irradiada por metro quadrado (kWh/m<sup>2</sup>) ao longo de um ano.

### Consulta de Construções Futuras

Esta etapa é de grande relevância em uma análise de longo prazo e consiste na consulta de potenciais construções futuras que possam gerar sombreamento sob as placas solares instaladas, o que acarretaria na perda de eficiência do sistema como um todo.

Em consulta feita com o responsável pelas questões relacionadas à construções e infraestrutura do campus, constatou-se que não serão construídas quaisquer edificações ao redor do prédio, de modo a se descartar a possibilidade da incidência de qualquer tipo de sombreamento sob as placas, em um cenário futuro.

### Obtenção de Dados do Local

Para o levantamento de dados relevantes, com relação ao local de aplicação deste projeto, estes foram divididos entre:

1. Dados do telhado (área, inclinação e orientação);
2. Quantidade total de lâmpadas, projetores e condicionadores de ar instalados no prédio;
3. Levantamento da irradiação solar do local por meio de mapas e dados de estações solarimétricas;

A obtenção dos dados relacionados ao telhado do prédio e à quantidade de equipamentos eletrônicos alocados neste se deu ainda na etapa de obtenção da conta de energia, por meio de requisições feitas à membros da prefeitura do campus (engenheiros e servidores). Através de e-mails, foram fornecidas as plantas estrutural e elétrica, que forneceram informações como:

- Área do telhado: Através do projeto da edificação desenvolvido em AutoCad, foi possível definir a área disponível para instalação dos painéis no telhado. Utilizando o comando “cota” do AutoCad, foi possível mensurar a área total do telhado disponível para instalação dos painéis.

Optou-se por não utilizar a superfície da caixa d'água para instalação dos painéis, em detrimento da falta de informações desta. Deste modo, descontando a área ocupada pela mesma, chegou-se à área útil do telhado destinada à instalação das placas.

- Inclinação e orientação: Na planta baixa disponibilizada, é informada a inclinação e orientação do telhado. Este, possui uma pequena inclinação para o Sul, enquanto a edificação está orientada para o norte.

Quantidade de lâmpadas e projetores: Analisando o esquema elétrico dos três níveis do prédio, chegou-se à quantidade total de lâmpadas e projetores à serem instalados neste. Os 2 projetores que estariam localizados onde fica a secretaria no prédio foram descartados, totalizando 14 aparelhos desta natureza na edificação.

- Quantidade de condicionadores de ar: O levantamento foi feito de maneira presencial, uma vez que estes estão instalados em somente 3 salas do prédio, ao contrário dos projetores e lâmpadas que se distribuem ao longo deste.
- Irradiação solar: Para a obtenção dos dados de irradiação solar, primeiramente foi preciso encontrar a latitude e longitude da Universidade, feito por meio da utilização do Google Earth. Preenchendo estes dados no *sundata* disponível no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), foram gerados os dados de irradiação solar ao longo do ano registrados para locais próximos ao das coordenadas inseridas. Foram escolhidos os dados de irradiação da estação solarimétrica mais próxima, localizada a 3.2 km de distância do prédio.

## 2.2 Dimensionamento do Sistema

A partir do levantamento dos dados relacionados ao local de instalação, foi possível dimensionar o sistema fotovoltaico à ser instalado, de modo que esta etapa foi feita por meio da utilização de duas ferramentas distintas:

1. Planilhas para realização dos cálculos;
2. Software PVsyst;

Primeiramente, as variantes do sistema foram obtidas por meio da utilização de planilhas. Uma vez que se dispunha de dados como demanda energética do prédio, irradiação solar incidente sobre este e área disponível para instalação das placas, definiu-se o modelo e potência das mesmas.

Com base na associação entre a potência requerida pelo sistema e os dados de incidência solar, estimou-se a quantidade necessária de placas e, posteriormente, de inversores à serem utilizados.

Por meio de uma comparação entre inversores de capacidades distintas, selecionou-se o modelo ideal à ser alocado com base nos aspectos técnicos (como tensão de entrada máxima e potência gerada) e financeiros (custo dos equipamentos) avaliados.

Posteriormente, foram levantadas as potenciais perdas que o sistema pode ter, sendo estas:

- Perdas por poluição do ar;
- Perdas térmicas;
- Eficiência do Inversor.

Após a realização do dimensionamento por meio da utilização de planilhas, iniciou-se a modelagem do sistema feita a partir do programa PVsyst, obtido através de uma licença que permitia seu uso por 30 dias.

Foi necessário preencher no software alguns dados a respeito do sistema, tais como localização (latitude e longitude), potência requerida, modelo e fabricante das placas e inversores selecionados e posteriormente, uma representação gráfica do local de instalação.

O PVsyst conta com uma grande base de dados, capaz de fornecer informações a respeito da irradiação solar do local escolhido, das diferentes marcas e modelos de painéis e inversores disponíveis no mercado. Também é possível definir por meio do programa, a inclinação e ângulo azimutal ideal para a localidade escolhida.

Por fim, através do software foi feita uma representação visual das placas instaladas no telhado do prédio, além de um comparativo entre a produção do sistema a partir da utilização de cada um dos diferentes tipos de inversores considerados, a fim de se determinar o modelo ideal à ser adotado.

Com base nos resultados gerados pelo programa, foi feita uma comparação entre estes e os parâmetros obtidos por meio da realização de cálculos em planilhas, a fim de se avaliar a aplicabilidade e consistência dos valores apresentados.

### **2.3 Análise Financeira**

Esta etapa, por sua vez, foi desenvolvida somente por meio da utilização de planilhas, dado que a licença do software (que também possui a ferramenta de análise financeira) já havia se expirado no momento da realização da mesma.

Pesquisando em sites e catálogos variados a os preços cobrados pelas placas e inversores adotados no projeto, chegou-se ao valor total à ser dispendido com a compra dos equipamentos. Acrescentando um valor estipulado para ser gasto com transporte dos equipamentos, bem como instalação destes e engenharia necessária, obteve-se o valor do investimento inicial necessário para viabilizar o projeto.

Em seguida, foi preciso definir o valor médio pago pelo kWh, por parte da Universidade. Uma vez que o consumo energético da Universidade se enquadra na tarifa verde, não é apresentado na conta de energia o valor médio pago para cada kWh consumido, o que exigiu a realização de um rateio entre as quantidades demandadas pelos diferentes tipos de consumo e suas respectivas tarifas ao longo do ano de 2018.

Estes se diferenciavam entre Consumo de Ponta (Cp) e Consumo Fora de Ponta (CFp). Para ambos os tipos são aplicadas a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e (Tarifa de Energia) TE. Por meio deste rateio, chegou-se ao valor médio pago por cada kWh consumido ao longo do ano de 2018.

Tendo em mãos os dados referentes à capacidade do projeto, o valor médio pago pelo kWh e o custo levantado para uma execução preliminar deste (desconsiderando custos de emissão de documentações, por exemplo), se fez possível calcular os diferentes índices financeiros e econômicos, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*, calculados respectivamente.

É válido ressaltar que o horizonte de tempo considerado para os cálculos dos índices citados, abrangem um total de 5 anos, ou então, 60 meses. Através da obtenção destes índices, foi possível definir a viabilidade econômica do projeto.

### 3. RESULTADOS

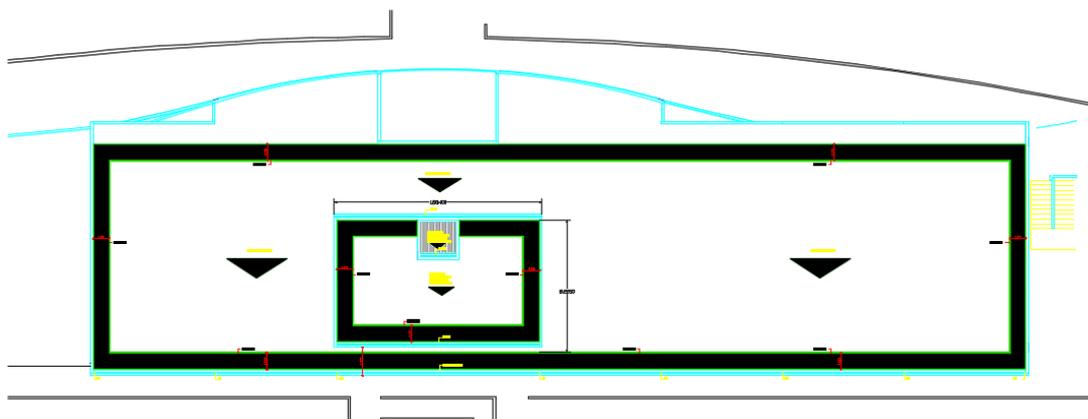
#### 3.1 Levantamento de Dados do Local

- Dados do Local

Através da aquisição de informações e imagens por meio da prefeitura do campus, bem como pela utilização de imagens fornecidas pelo Google Earth, pôde-se levantar informações a respeito do telhado do prédio utilizado como objeto de estudo. A Figura 2 destaca o prédio onde se aplica o presente estudo.



**Figura 2:** Prédio onde serão instalados os painéis. Fonte: Google Earth.



**Figura 3:** Vista superior do telhado do prédio com a utilização de AutoCad.

Fonte: Prefeitura do Campus UFSCar.



**Figura 4:** Fotografia do local de instalação das placas. Fonte: Prefeitura do Campus UFSCar.

Através da utilização do comando “cota” no Auto Cad, as dimensões do telhado foram calculadas, de modo que este, apresenta 55,5 metros de comprimento por 11,93 metros de largura, totalizando uma área de 661,84 m<sup>2</sup>. Descontando-se a área ocupada pela caixa d’água (79,9 m<sup>2</sup>), que não será considerada para a instalação dos painéis solares, obteve-se a área total disponível, com aproximadamente 582 m<sup>2</sup>.

Por meio do Google Earth, foram levantadas as coordenadas geográficas do local, apresentada à seguir:

**23° 34’ 55’’ S; 47° 31’ 33’’ O**

Conhecendo as coordenadas geográficas do local, se fez possível definir a inclinação ideal dos painéis, baseando-se nos dados apresentados na Tabela 1, exposta por (VILLALVA e GAZOLI, 2012):

**Tabela 1:** Ângulo de inclinação do módulo recomendado.

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

**Fonte:** VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Dada a latitude local, situada entre 21° e 30°, estipulou-se com base em Villalva e Gazoli (2012) o ângulo de inclinação recomendado para as placas, que no caso é de aproximadamente 28° (23° + 5°), com a sua face voltada para o norte, ou seja, com um ângulo azimutal igual à 0°. Para tanto, será necessário instalar estruturas capazes de manter os painéis inclinados e fixos.

A partir da inserção das coordenadas do local no *sundata* da CRESESB, também foram obtidas as médias diárias de irradiação solar registradas para cada mês do ano, em uma estação localizada à 3,2 quilômetros do prédio estudado. Os dados apresentados exibem a irradiação incidente sob o plano horizontal e sob uma inclinação de mesmo ângulo que a latitude local.

**Tabela 2:** Radiação média incidente nas proximidades da Universidade.

	Radiação diária média por mês [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA
Plano Horizontal	5,5	5,7	5,0	4,4	3,6	3,3	3,4	4,4	4,6	5,1	5,6	6,1	4,7
Ângulo Igual a Latitude	5,0	5,4	5,2	5,1	4,4	4,4	4,4	5,3	4,9	5,0	5,1	5,4	5,0

**Fonte:** CRESESB, 2018

Se faz importante a obtenção destes dados, uma vez que conforme consta nos *datasheets* dos painéis, as condições de teste às quais estes são submetidos, consideram seu desempenho sob uma irradiação solar de 1 kW/m<sup>2</sup> (ou 1.000 W/m<sup>2</sup>). Deste modo, os valores apresentados na Tabela 2 indicam a quantidade média, em horas, em que as placas ficariam expostas à cada dia do mês, sob uma irradiação de 1 kW/m<sup>2</sup>, o que também é chamado de Horas de Sol Pleno (HSP).

- Levantamento do consumo

Por meio da checagem física dos equipamentos instalados no prédio, foram levantadas algumas informações a respeito destes, o que permitiu a busca por seus respectivos catálogos e manuais, utilizados para levantar informações adicionais dos mesmos. Estas, se encontram na Tabela 3.

Através dos documentos fornecidos pela prefeitura do campus, foi feito o mapeamento de todas as instalações do edifício, o que permitiu levantar a quantidade de equipamentos presentes em cada sala e, conseqüentemente, no prédio todo, apresentada na Tabela 4.

**Tabela 3:** Relação entre equipamentos eletrônicos considerados no cálculo da demanda energética.

Equipamento	Marca	Modelo	Quantidade no Prédio	Consumo Unitário
Lâmpada	Alper	Led tubular ALP-LT8-18W- 145V	644	18 W
Projektor portátil	NEC	NP-VE282B	16	250 W *
Ar condicionado	Totaline	60 btu	2	5534 W
Ar condicionado	Totaline	80 btu	1	8673 W
Ar condicionado	Komeco	21 btu	1	2030 W

**Fonte:** Elaboração própria. \*Considerando o aparelho funcionando com o modo econômico desligado, alimentado por uma tensão de 220 V.

**Tabela 4:** Quantidade de equipamentos dispostos em cada instalação do prédio.

Sala Item	TÉRREO						1° ANDAR						2° ANDAR					TOTAL PRÉDIO	
	1	2	3	4	10	Área externa térreo	101	102	103	104	110	111	Área externa 1° andar	201	202	203	209		Área externa 2° andar
Lâmpadas	24	24	24	24	48	80	24	24	24	24	24	24	72	32	8	48	48	68	644
Projektor	1	1	0	0	2	-	1	1	1	1	1	1	-	1	-	1	2	-	14
Ar condicionado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*	1**	2***	-	-	4

**Fonte:** Elaboração própria. \* 80 btu; \*\* 21 btu; \*\*\* 60 btu

Com estes dados em mãos, foram feitas estimativas para os períodos de utilização de cada sala (e equipamento) ao longo dos dois semestres letivos anuais, bem como das férias escolares. Para tanto, foi utilizado o Sistema de Agendamento de Salas da Universidade.

Baseando-se nos horários agendados para cada uma das salas do prédio (preenchidos por aulas, palestras, monitorias e afins) ao longo de dois semestres letivos, foi estimada a quantidade média de horas semanais em que as instalações foram utilizadas durante cada período de aulas do ano de 2017, apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5:** Tempo de uso semanal (em horas) de cada instalação durante o período letivo.

Sala Período	TÉRREO						1º ANDAR						2º ANDAR					
	1	2	3	4	10	Área Comum	101	102	103	104	110	111	Área Comum	201	202	203	209	Área Comum
1º Semestre	54	63	40	40	8	20	65	58	58	58	51	60	20	32	70	45	10	20
2º Semestre	55	64	40	40	10	20	57	59	50	48	49	44	20	36	70	48	4	20

**Fonte:** Elaboração própria.

Dividindo a quantidade de horas semanais utilizadas por 5 dias úteis, chegou-se ao consumo diário de cada instalação, durante os dois semestres letivos anuais. Com a inclusão da Lei nº 12.796 (2013) na Lei nº 9.394 (1996) estipulando carga horária de pelo menos 200 dias letivos ao ano, multiplicou-se o consumo diário levantado para cada sala nos diferentes semestres do ano por 100 dias, que representam a quantidade total de dias letivos ao longo de um semestre.

É válido ressaltar a premissa adotada com relação à utilização das áreas em comum do prédio (corredores, banheiros, saguão, etc.), de modo que foi considerada uma utilização média de 4 horas diárias ao longo do período letivo. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Tempo de uso (em horas) de cada instalação durante o período letivo.

Sala Tempo de uso (H)	TÉRREO						1º ANDAR						2º ANDAR					
	1	2	3	4	10	Área Comum	101	102	103	104	110	111	Área Comum	201	202	203	209	Área Comum
Semanal	54	63	40	40	8	20	65	58	58	58	51	60	20	32	70	45	10	20
Diário	10,8	12,6	8	8	1,6	4	13	11,6	11,6	11,6	10,2	12	4	6,4	14	9	2	4
1º Semestre	1080	1260	800	800	160	400	1300	1160	1160	1160	1020	1200	400	640	1400	900	200	400
Semanal	55	64	40	40	10	20	57	59	50	48	49	44	20	36	70	48	4	20
Diário	11	12,8	8	8	2	4	11,4	11,8	10	9,6	9,8	8,8	4	7,2	14	9,6	0,8	4
2º Semestre	1100	1280	800	800	200	400	1140	1180	1000	960	980	880	400	720	1400	960	80	400

**Fonte:** Elaboração própria

Feito isto, estimou-se o tempo de utilização das mesmas instalações para o período de férias escolares. Para tanto, foram feitas algumas considerações referentes à taxa de utilização das salas de aula e daquelas em que ficam os servidores.

Conforme apontado em entrevista feita com um dos funcionários do campus, as salas nas quais ficam os servidores funcionam, de modo geral, normalmente durante o recesso escolar, enquanto apenas os laboratórios de informática costumam ser utilizados, em taxas consideravelmente menores, durante o período. Posto isto, a quantidade estimada de horas em que as instalações do prédio demandaram energia durante as férias estão expostas na Tabela 7:

**Tabela 7:** Tempo de uso (em horas) de cada instalação durante o recesso escolar.

Sala Tempo de uso (H)	TÉRREO						1º ANDAR						2º ANDAR					
	1	2	3	4	10	Área Comum	101	102	103	104	110	111	Área Comum	201	202	203	209	Área Comum
Férias escolares	0	0	520	520	0	195	0	0	0	0	0	0	195	65	520	65	0	195

**Fonte:** Elaboração própria

Por meio da somatória dos tempos de utilização de cada instalação no primeiro semestre letivo (T1), no segundo (T2) e durante o período de férias (Tf), foi possível, foi possível determinar o tempo total de utilização de cada sala ao longo de um ano (Ta), apresentado na EQUAÇÃO 1:

$$Ta = t1 + t2 + tf \quad (1)$$

Desta forma, pôde-se estimar a utilização anual (consequentemente mensal e diária) de cada uma das instalações do prédio utilizado. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8:** Tempo total de uso (em horas) de cada instalação em um ano.

Sala Tempo de uso (H)	TÉRREO						1º ANDAR						2º ANDAR					
	1	2	3	4	10	Área Comum	101	102	103	104	110	111	Área Comum	201	202	203	209	Área Comum
1º Semestre	1080	1260	800	800	160	400	1300	1160	1160	1160	1020	1200	400	640	1400	900	200	400
2º Semestre	1100	1280	800	800	200	400	1140	1180	1000	960	980	880	400	720	1400	960	80	400
Férias escolares	0	0	520	520	0	195	0	0	0	0	0	0	195	65	520	65	0	195
<b>TOTAL</b>	2180	2540	2120	2120	360	995	2440	2340	2160	2120	2000	2080	995	1425	3320	1925	280	995

**Fonte:** Elaboração própria.

Com base no tempo total de utilização de cada sala, se faz possível definir o tempo de uso para cada equipamento, permitindo estabelecer a quantidade energética demandada pelo prédio, como um todo, ao longo de um ano.

Para isso, foram cruzados os dados das tabelas 6, 7 e 8. Multiplicando o tempo de utilização anual de cada instalação (Tabela 8), pela quantidade de equipamentos dispostos na mesma (Tabela 7) e suas respectivas potências unitárias (Tabela 6), obteve-se o valor da demanda energética anual do prédio, totalizando 60.970,7 kWh.

Uma vez que o dimensionamento do sistema deve utilizar uma mesma referência temporal para suas variáveis, os dados utilizados se relacionam aos valores diários de irradiação solar, consumo energético, etc.

Sendo assim, dividiu-se a demanda total energética, de 60.970,7 kWh pelos 12 meses do ano, chegando-se à um valor médio de 5.057,6 kWh demandados por mês. Descontando-se 100 kWh referentes ao custo de disponibilidade (valor aplicado para sistemas trifásicos), foi obtido o valor final utilizado para o dimensionamento do sistema, que deve ser capaz de fornecer 4.957,6 kWh mensais de energia.

A fim de se ajustar este valor para a o seu correspondente em dias (como os dados de irradiação solar são fornecidos pela CRESESB), dividiu-se o mesmo por 30 dias, finalmente chegando à demanda média diária de energia do prédio, totalizando 165,3 kWh.

### 3.2 Dimensionamento do Sistema

Para realização do dimensionamento do sistema, foram utilizados dois meios diferentes apresentados a seguir.

- Cálculos feitos em Planilhas;
- Utilização do Software PVsyst.

### Planilhas

Dividindo o consumo energético diário (165,3 kWh) pela média diária de Horas de Sol Pleno (5,03 horas), em que a irradiância é de aproximadamente 1.000 W/m<sup>2</sup>, chegou-se à Potência Pico do Sistema Fotovoltaico, de 32,82 kW.

Conforme apontado por Cari e Lemes (2019), a depender das condições do local, bem como do projetista, deve-se levar em consideração as diferentes fontes de perda que o sistema pode ter.

Para o presente projeto, o fator de perda foi calculado a partir da multiplicação das perdas devido à poluição do ar ( $\eta_{ar}$ ), das perdas térmicas ( $\eta_{ter}$ ) e, por fim, àquelas relacionadas à eficiência do inversor ( $\eta_{inv}$ ), obtidas por meio de seu respectivo *datasheet*. A equação a seguir ilustra como foi obtido o fator de perdas adotado para este estudo:

$$F_{per} = (\eta_{ar}) \times (\eta_{ter}) \times (\eta_{inv}) \quad (2)$$

$$F_{per} = 0,9 \times 0,9 \times 0,985 = 0,8$$

Por meio da divisão da potência pico do sistema pelo fator de perdas, finalmente se obteve a potência corrigida do sistema, totalizando 41.136,4 Watts.

Uma vez que as placas fotovoltaicas com 330 W de potência pico se mostram mais acessíveis, possuindo maior variedade de marcas disponíveis (dentro os modelos acima de 300 W, considerados mais viáveis conforme os padrões do projeto), permitindo a comparação de preços e maior liberdade de escolha, ficou definido que este modelo de 330W seria adotado para a escolha das placas à serem instaladas.

Sendo assim, para determinar a quantidade requerida destas, foi feita uma divisão entre a potência total do sistema corrigida, pela potência-pico unitária das placas escolhidas, resultando 124,65 placas necessária, arredondado para 125 módulos de 330 W cada, totalizando uma potência pico das placas de 41.250 W, valor que seria atingido somente em um sistema ideal, submetido à STC.

Multiplicando este valor da potência pico pela eficiência de 80% do sistema, bem como pelo valor médio de HSP de 5 horas e por 30 dias mensais, chegou-se ao valor energético médio à ser gerado mensalmente pelo sistema, de 4.971,25 kWh, o que satisfaria a demanda média do prédio já apresentada, de 4.957,6 kWh.

Com a quantidade de placas necessárias definidas, foi analisado a viabilidade de instalar as mesmas no telhado do prédio. Para tanto, foi feita uma estimativa da área ocupada pelas placas, baseando-se na dimensão das mesmas.

De acordo com as especificações do painel, este apresenta uma largura de 1.956 mm e uma altura de 991 mm, ocupando uma área de aproximadamente 1,94 m<sup>2</sup>. A fim de se simular o espaço acrescentado pela angulação, espaçamento requerido entre as fileiras de placas, e estruturas de fixação, acrescentou-se um fator de 30% a mais de área ocupada por placa, resultando em uma área equivalente à 2,522 m<sup>2</sup>.

Multiplicando-se este valor pela quantidade total de painéis instalados, chegou-se à área total do telhado à ser ocupada pelos painéis, de 315,25 m<sup>2</sup>, valor inferior ao espaço total disponível no telhado para instalação destas.

Feito isto, foi definido o arranjo fotovoltaico do sistema. Para tanto, foi acrescentado um painel na composição do sistema, a fim de se facilitar a disposição do conjunto. Definiu-se que serão feitas 14 ligações associadas em série ligadas à cada uma das 9 fileiras conectadas em paralelo, totalizando 126 módulos fotovoltaicos.

Com base nas informações obtidas para os painéis comerciais disponíveis, foram levantadas a Tensão de Operação de Máxima Potência ( $V_{mp}$ ), 37,3 V, e a Corrente de Operação de Máxima Potência ( $I_{mp}$ ), 8,85 A, para cada módulo.

Posto isto, se fez necessário definir o tipo de inversor à ser escolhido para o sistema. É válido ressaltar que o subdimensionamento do inversor é uma prática comum, visto que a potência gerada pelos painéis dificilmente atingirá o pico calculado, pois os valores apresentados em seus respectivos *datasheets* remetem às condições padrões de teste STC às quais eles são submetidos nas fases experimentais (Villalva e Gazoli, 2012).

Além disso, o Fator de Dimensionamento do inversor varia de modo geral entre 75% e 105% da potência nominal de geração calculada. Já Andrade (2012) citando Souza e Oliveira (2011), aponta que a potência do inversor deverá estar compreendida entre 70% e 120% da potência fotovoltaica à ser instalada.

Sendo assim, em detrimento da economia advinda da compra de um kit contendo diversos componentes do sistema, optou-se por adotar inversor de 40 kW de potência, um pouco inferior aos 41,2 kW calculados anteriormente, o que representa, entretanto, um Fator de Dimensionamento de 97% em comparação com a potência máxima total, valor aceitável com base na literatura.

Analisando as especificações apresentadas no catálogo do inversor escolhido, foi levantada a faixa de tensão de entrada para a máxima potência (MPP), entre 570 e 800 Volts, assim como a corrente máxima de entrada permitida para a máxima potência (MPP), de 72 Ampére.

Multiplicando-se os valores de  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$  obtidos pelo *datasheet* do painel, pela quantidade de módulos ligados em série e paralelo, respectivamente, constatou-se que a tensão de entrada no inversor seria de 522 Volts e a corrente de 79,65 Ampére, o que não satisfaz as especificações do aparelho, uma vez que a tensão de entrada é menor do que a especificada, ao passo que a corrente supera o valor de 72 Ampére.

Sendo assim, foi proposto o rearranjo do sistema fotovoltaico, de modo a se conectar 16 módulos em série e 8 módulos em paralelo, totalizando 128 placas. Multiplicando estas quantidades pelo  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$  individual, têm-se uma tensão total de entrada igual à 596,8 Volts, e uma corrente total de 70,8 Ampére, satisfazendo as especificações do inversor.

Além disso, mesmo com 128 painéis gerando uma potência pico de 42,24 kW, o inversor de 40 kW ainda estaria na faixa aceitável, representando mais de 94% da potência total de pico do sistema.

Com a demanda energética atendida, o espaço físico disponível para instalação do sistema suficientemente grande, a definição do arranjo do sistema e do tipo de inversor à ser adotado, satisfazendo suas especificações, constatou-se que o projeto é viável do ponto de vista técnico.

Uma vez que para o presente projeto, as principais fontes de custo do sistema são representadas pelos painéis solares e inversor(es), com a definição destas variáveis do sistema, foi feito o dimensionamento do sistema por meio do software *PVsyst*, seguido da etapa de análise financeira do projeto, realizada também pelo uso de planilhas.

### Software *PVsyst*

O dimensionamento do sistema pelo software *PVsyst* iniciou por meio da criação de um novo projeto. Nele, foram inseridos os dados a respeito do local de aplicação do projeto, de modo que com base na cidade de aplicação, o sistema gerou os dados de irradiação, difusão, temperatura e velocidade do vento, todos contidos na base de dados *Meteonorm 7.2, Sat.=95%* presente no sistema.

Estes dados foram utilizados posteriormente na fase de dimensionamento do sistema. Primeiramente foram inseridos parâmetros envolvendo a orientação, como ângulo azimutal e inclinação desejada das placas, já definidas anteriormente. Feito isto, foi dimensionado o sistema. Para tanto, foram inseridos parâmetros referentes à potência de entrada planejada e especificações dos módulos e inversores adotados. Para a simulação no software, foram escolhidos painéis de 330 Wp da marca Canadian, enquanto optou-se por utilizar inversores genéricos de 12 KW.

Através da inserção de todas as variantes citadas anteriormente, a aba “dimensionamento do sistema” é responsável por gerar a quantidade à ser empregada de painéis e inversores, bem como o design do mesmo, considerando a maneira como estes serão dispostos (em série ou paralelo). Os resultados da simulação são apresentados à seguir:

Global System configuration		Global system summary	
1	Number of kinds of sub-arrays	Nb. of modules	126
		Module area	245 m <sup>2</sup>
		Nb. of inverters	3
		Nominal PV Power	41.6 kWp
		Maximum PV Power	40.9 kWdc
		Nominal AC Power	36.0 kWac

Sub-array name and Orientation		Presizing Help	
Name	Grupo FV	<input type="radio"/> No sizing	Enter planned power <input type="text" value="41.1"/> kWp
Orient.	Fixed Tilted Plane	<input type="radio"/> or available area(modules)	<input type="text" value="243"/> m <sup>2</sup>
Tilt	28°	<input type="button" value="Resize"/>	
Azimuth	0°		

Select the PV module		Approx. needed modules	
Available Now		125	
Canadian Solar Inc.	330 Wp 31V Si-poly CS6U - 330P 1500V Since 2017	Manufacturer 2017	
Sizing voltages : Vmpp (60°C) 31.7 V			
Voc (-5°C) 50.1 V			
<input type="checkbox"/> Use Optimizer			

Select the inverter		Global Inverter's power	
Available Now		36.0 kWac	
Generic	12 kW 350 - 600 V TL 50/60 Hz 12 kWac inverter with 2 MPPT Since 2012		
Nb. of inverters	3 <input checked="" type="checkbox"/>	Operating Voltage: 350-600 V	
<input type="checkbox"/> Use multi-MPPT feature		Input maximum voltage: 800 V	<b>Inverter with 2 MPPT</b>

Design the array		Operating conditions	
Number of modules and strings		Vmpp (60°C)	443 V
Mod. in series	14 <input checked="" type="checkbox"/> between 12 and 15	Vmpp (20°C)	531 V
Nbre strings	9 <input checked="" type="checkbox"/> between 8 and 9	Voc (-5°C)	702 V
Overload loss	0.0 %	Plane irradiance	1000 W/m <sup>2</sup>
Pnom ratio	1.16 <input type="button" value="Show sizing"/>	Imp (STC)	80.3 A
Nb. modules	126	Isc (STC)	85.0 A
Area	245 m <sup>2</sup>	Isc (at STC)	85.0 A
		Max. in data	<input type="radio"/>
		STC	<input checked="" type="radio"/>
		Max. operating power at 1000 W/m <sup>2</sup> and 50°C	37.3 kW
		Array nom. Power (STC)	41.6 kWp

**Figura 5:** Dados do sistema. **Fonte:** PVsyst.

Conforme mostra a Figura 5, os resultados apresentados pelo software condizem com àqueles obtidos por meio dos cálculos em planilhas. De modo geral, seriam empregados 126 módulos de 330 Wp cada, ao passo que foram adotados 3 inversores de 12 KW cada um, seriam responsáveis por converter a corrente gerada pelas placas, o que representa 87% da potência total fotovoltaica gerada, valor aceitável para dimensionamento de um projeto.

É interessante mencionar que por razões técnicas e econômicas, o software optou por subdimensionar a carga dos inversores em detrimento do superdimensionamento destes, de modo que se fossem utilizados 4 inversores, a potência destes seria 16% acima da geração pico dos painéis, o que também é aceitável do ponto de vista técnico, ainda que seja desnecessário tecnicamente e economicamente.

O software também é capaz de calcular a disposição ideal dos painéis, que devem compreender 9 ligações em paralelo com 14 painéis em série. Além

disso, a área ocupada pelo sistema seria de 245 m<sup>2</sup>, valor próximo ao estimado por meio dos cálculos em planilhas, também se mostrando aplicável ao projeto.

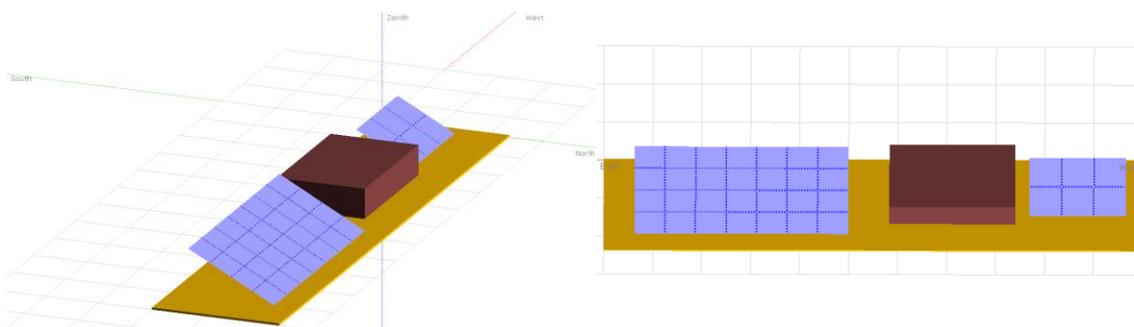
Com os dados em mãos, foi feita uma simulação do sistema, responsável por fornecer resultados gerais a respeito deste, incluindo a produção anual do sistema, produção específica, normalizada, performance e perdas. Este são apresentados a seguir:

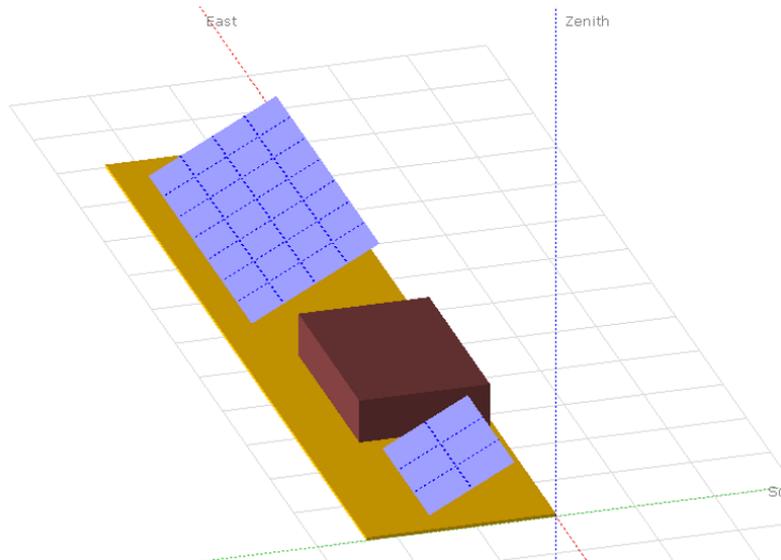
System kind	Building system
System Production	<b>53.8</b> MWh/yr
Specific production	<b>1295</b> kWh/kWp/yr
Performance Ratio	<b>0.843</b>
Normalized production	<b>3.55</b> kWh/kWp/day
Array losses	<b>0.57</b> kWh/kWp/day
System losses	<b>0.09</b> kWh/kWp/day

**Figura 6:** Resultados esperados para o sistema. **Fonte:** PVsyst.

Na Figura 6, destaca-se a produção anual esperada para o sistema proposto, equivalente à 53,8 MWh/ano. O software fornece também a performance esperada para o sistema, que deverá ter taxa de rendimento equivalente à 84,3%, valor próximo ao fator de perdas considerado nas planilhas.

Por fim, por meio do módulo destinado à representação gráfica do sistema, foi feito um desenho representativo, a fim de se projetar como ficariam dispostas as placas sob o telhado do prédio. As figuras apresentadas abaixo ilustram a representação de como os painéis ficariam dispostos.





**Figura 7:** Representação gráfica do sistema à ser implementado. **Fonte:** *PVsyst*.

Através da realização do dimensionamento por meio do software, notou-se a convergência entre diversos parâmetros calculados pelo mesmo e por meio das planilhas, indicando que os resultados calculados são consistentes, uma vez que se associam em diversos fatores, ainda que calculados por meio de métodos diferentes.

### 3.3 Análise Financeira

A análise financeira foi feita com a utilização de planilhas, para tanto, foi preciso definir primeiramente o custo total do projeto, obtido por meio do contato com diversos fornecedores e empresas responsáveis por comercializar os kits e produtos individuais responsáveis por compor um sistema fotovoltaico.

Em detrimento da falta de respostas de alguns fornecedores, bem como pelo alto preço cobrado dos produtos, se vendidos separadamente, constatou-se que o mais vantajoso do ponto de vista econômico é adquirir kits completos, de modo que os produtos tenham descontos, muitas vezes em detrimento da economia de escala realizada.

Com base nos requisitos do sistema, foi escolhido um kit oferecido pela BALFAR SOLAR com capacidade para 41,58 kWp. Este, inclui além das placas, um inversor, cabos, conectores e estruturas para fixação dos painéis no telhado. Note que o kit contém um painel a mais do que o necessário, o que

não foi considerado um problema em detrimento da economia de escala, bem como das garantias ofertadas pelo vendedor.

Os dados relacionados ao kit, contendo o Custo Total dos Equipamentos (CTe) são apresentados na tabela abaixo:

**Tabela 9:** Relação entre produtos e preços do kit utilizado para o sistema.

<b>KIT 41.58 KWP</b>			
<b>PRODUTO</b>	<b>QTD</b>	<b>VL UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
PAINEL SOLAR 330W IMPORTADO	126	R\$ 499,00	R\$ 62.874,00
INVERSOR 40 KW TRIFAS. 380V 02 MPP C/ WIFI	1	R\$ 16.450,00	R\$ 16.450,00
CONJ. CONECTOR MC4	20	R\$ 20,00	R\$ 400,00
CABO SOLAR 6 MM 1000 V VERM	175	R\$ 4,80	R\$ 840,00
CABO SOLAR 6 MM 1000 V PTO	175	R\$ 4,80	R\$ 840,00
ESTRUTURA DE FIXAÇÃO PARA COBERTURA	126	R\$ 85,00	R\$ 10.710,00
<b>Custo Total Equipamentos</b>			<b>R\$ 92.114,00</b>

**Fonte:** Balfar Solar.

Adotando-se um custo de transporte (Ct) equivalente à 5% do preço dos equipamentos e o custo de engenharia e instalação (Cei) correspondente à 20%, somaram-se essas três fontes de custos para se chegar ao valor total (VT) à ser dispendido para que o projeto seja desenvolvido e aplicado.

A equação 3 apresentada a seguir demonstra como foi obtido-se o valor total à ser investido:

$$VT = CTe + Ct + Cei \quad (3)$$

$$VT = R\$ 92.114,00 + R\$ 4.605,70 + R\$ 18.422,80$$

$$VT = R\$ 115.142,50$$

Tendo em mãos o valor requerido para execução do projeto, totalizando aproximadamente R\$115.142,50 reais, se fez necessário levantar o valor total pago pelo kWh. Para tanto, foi feito um rateio entre as taxas cobradas,

considerando suas respectivas quantidades consumidas, bem como valor total cobrado.

Com base nos dados apresentados na conta de energia, somou-se os valores de TUSD e TE cobrados tanto para o Consumo de Ponta (Cp) como o Fora de Ponta (CFp) pela concessionária responsável por fornecer energia à Universidade, a CPFL Piratininga, chegando ao valor total pago para o kWh consumido dentro dessas diferentes tarifas. A Tabela 10 ilustra os resultados obtidos:

**Tabela 10:** Custos Totais por kWh consumido sob as diferentes tarifas

Tipo de Consumo	Tarifa	Valor	Custo Total Total
Ponta (Cp)	TUSD	R\$ 0,75	R\$ 1,42
	TE	R\$ 0,66	
Fora de Ponta (CFp)	TUSD	R\$ 0,09	R\$ 0,50
	TE	R\$ 0,42	

**Fonte:** Elaboração própria.

Por meio da conta de energia, também foi levantada a quantidade mensal de energia demandada tanto em Ponta como Fora de Ponta. Multiplicando esses valores pelos seus respectivos custos totais, calculados na Tabela 10, levantou-se o valor gasto em cada mês com cada tipo de energia consumida.

Somando estes valores mensais, consumidos e gastos com cada tipo de tarifa, ao longo de um ano, chegou-se à quantidade de energia consumida em Ponta e Fora de Ponta durante um ano, bem como o valor total dispendido com cada uma dessas tarifas durante o período.

Dividindo estes valores anuais de cada uma dessas tarifas pelos valores globais, obtidos pela soma destas duas, foi levantada a Taxa de Representatividade tanto sob a quantidade total de energia consumida, como pelo valor total dispendido. Estes dados são apresentados na Tabela 11:

**Tabela 11:** Quantidade Consumida, Valor Dispendido e Representatividade para cada tipo de tarifa.

Mês	Consumo Ponta		Consumo Fora de Ponta	
	Quantidade Consumida (kWh)	Valor Dispendido	Quantidade Consumida (kWh)	Valor Dispendido
Jan	4.576	R\$ 6.488,77	52.804	R\$ 26.507,61
Fev	5.386	R\$ 7.637,35	67.047	R\$ 33.657,59
Mar	9.584	R\$ 13.590,11	75.160	R\$ 37.730,32
Abr	12.427	R\$ 17.621,49	78.412	R\$ 39.362,82
Mai	10.604	R\$ 15.036,47	68.426	R\$ 34.349,85
Jun	7.814	R\$ 11.080,25	64.935	R\$ 32.597,37
Jul	11.586	R\$ 16.428,95	71.893	R\$ 36.090,29
Ago	10.523	R\$ 14.921,61	68.633	R\$ 34.453,77
Set	10.046	R\$ 14.245,23	77.745	R\$ 39.027,99
Out	12.513	R\$ 17.743,43	83.254	R\$ 41.793,51
Nov	9.935	R\$ 14.087,83	77.310	R\$ 38.809,62
Dez	11.648	R\$ 16.516,86	90.368	R\$ 45.364,74
<b>TOTAL</b>	<b>116.642</b>	<b>R\$ 165.398,36</b>	<b>875.987</b>	<b>R\$ 439.745,47</b>
<b>Taxa de representatividade</b>	<b>11,8%</b>	<b>27,3%</b>	<b>88,2%</b>	<b>72,7%</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

Multiplicando a taxa de representatividade referente ao Valor Dispendido, pelo valor total cobrado por kWh em cada uma dessas diferentes tarifas (os dados da Tabela 10 pela Tabela 11, foi obtido o custo médio pego pelo kWh consumido pela Universidade, no valor de R\$ 0,75.

Com este valor em mãos, foi calculado primeiramente o VPL. Para tanto, foram consideradas algumas variáveis, dentre elas:

- O Investimento Inicial;
- A quantidade média de energia gerada ao ano, considerando a perda de eficiência anual de 0,5% dos módulos sugerida pelo Manual de Engenharia – CRESESB, 2014;
- O valor pago pelo kWh para o Consumo Fora de Ponta, uma vez que conforme apontado pelo Engenheiro Eletricista do Campus, o desconto

fornecido pela injeção de energia na rede costuma ser referente à taxa cobrada pelo Consumo Fora de Ponta, uma vez que a energia é gerada e distribuída durante o dia, período no qual se aplica esta taxa;

- Inflação anual projetada, baseada nas projeções do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), feitas pelo Relatório Focus de Mercado, emitido pelo Banco Central do Brasil em julho de 2018;
- Taxa SELIC anual, também projetada pelo Banco Central do Brasil, que por sua vez, foi considerada como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para o projeto, ou seja, a taxa mínima de rentabilidade que o projeto deve ter;
- Horizonte de tempo projetado;

Para o presente projeto, não foram consideradas as taxas de depreciação anual e de manutenção do sistema. A Tabela 12 apresenta os valores considerados para o cálculo do VPL, ao passo que a Tabela 13 ilustra os resultados obtidos:

**Tabela 12:** Dados considerados para cálculo do VPL.

Variáveis	Valor Adotado
Investimento Inicial	R\$ 115.142,50
Energia Gerada no primeiro ano (kWh)	59.655
Perda anual de eficiência	0,50%
Valor CFp	R\$ 0,50
Inflação anual projetada	4%
Taxa SELIC anual (TMA)	6,50%
Horizonte de Tempo projetado	5 anos

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela 13:** Resultados obtidos do FCO

ANO	GERAÇÃO ENERGÉTICA (KWH)	ECONOMIA OBTIDA	FCO	FCO ACUMULADO
0			-R\$ 115.142,50	-R\$ 115.142,50
1	59.655	R\$ 29.827,52	R\$ 29.827,52	-R\$ 85.314,98
2	59.357	R\$ 30.865,52	R\$ 30.865,52	-R\$ 54.449,46
3	59.060	R\$ 31.939,64	R\$ 31.939,64	-R\$ 22.509,82
4	58.765	R\$ 33.051,14	R\$ 33.051,14	R\$ 10.541,32
5	58.471	R\$ 34.201,32	R\$ 34.201,32	R\$ 44.742,64

**Fonte:** Elaboração própria.

Nota-se que os valores dos FCO's são sempre positivos, uma vez que foram apenas considerados os ganhos obtidos com a economia de energia e injeção desta na rede, não sendo levados em conta os potenciais gastos com manutenção que o sistema possa vir a ter.

Com os valores obtidos para o Fluxo de Caixa Operacional ao longo dos 5 anos, foi feito o cálculo do Valor Presente. Para tanto, foi utilizada a Equação 4:

$$VP = \frac{FCO_n}{(1 + TMA)^n}$$

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 14:

**Tabela 14:** Valor Presente anual e total calculados.

ANO	1	2	3	4	5	TOTAL
VP	R\$ 28.007,06	R\$ 27.212,87	R\$ 26.441,20	R\$ 25.691,41	R\$ 24.962,88	R\$ 132.315,44

**Fonte:** Elaboração própria.

Conforme já citado, subtraindo-se o Investimento Inicial do Valor Presente Total acumulado para o período, é possível de se obter o primeiro índice de desempenho econômico desejado, o VPL. Para o caso estudado,

obteve-se o VPL de R\$ 17.172,94, o que indica que o projeto, sob este índice, é viável do ponto de vista econômico.

Para o cálculo da Taxa Interna de Retorno, foi utilizada a função TIR do Microsoft Excel, calculada com base no intervalo envolvendo o Investimento Inicial à ser realizado e os valores obtidos para os FCO's dos 5 anos avaliados. O valor obtido para a TIR referente ao presente estudo é de 11,7%, também indicando que trata-se de um projeto viável, uma vez que este valor é superior comparado à Taxa Média de Atratividade.

Por fim, foi feito o cálculo do *Payback* do projeto, que visa compreender em quanto tempo será recuperado o investimento feito para a execução deste. Para tanto, foi somado ao valor investido (representado pelo sinal negativo, indicando o dispêndio de dinheiro) o VP calculado para cada ano, conforme mostra a Tabela 14. A Tabela 15 apresentada a seguir ilustra os resultados obtidos:

**Tabela 15:** Resultados referentes ao *Payback* do Projeto

Ano	FCO	VP	PAYBACK DESCONTADO
0	-R\$ 115.142,50		-R\$ 115.142,50
1	R\$ 29.827,52	R\$ 28.007,06	- R\$ 87.135,43
2	R\$ 30.865,52	R\$ 27.212,87	- R\$ 59.922,56
3	R\$ 31.939,64	R\$ 26.441,20	- R\$ 33.481,36
4	R\$ 33.051,14	R\$ 25.691,41	- R\$ 7.789,94
5	R\$ 34.201,32	R\$ 24.962,88	<b>R\$ 17.172,94</b>

. **Fonte:** Elaboração própria.

Como se pode ver, somente após o quarto ano o investimento irá ser recuperado inteiramente. Para saber o mês ao certo, dividiu-se o valor restante para ser recuperado ao quarto ano (-R\$ 7.789,94) pelo VP do período seguinte, equivalente à R\$ 24.962,88, de modo a se estimar que o *Payback* descontado do projeto é de 4,31 anos, ou então, aproximadamente 4 anos e 4 meses.

Dado o horizonte de tempo avaliado no presente estudo, equivalente à 5 anos, este período foi considerado como o prazo máximo tolerável para o tempo até atingir o *payback*, de modo que o valor do índice deveria ser inferior

à este, para que o mesmo fosse considerado satisfatório, o que ocorreu, conforme mostram os resultados acima.

Além disso, uma vez que o crédito gerado pela injeção de energia na rede será computado como excedente, visto que o projeto já terá sido pago, e sabendo que os painéis e inversores do sistema, que representam as maiores fontes de custo deste, possuem garantia de fábrica de 20 anos em média, o projeto se mostra viável economicamente pelo cálculo do *payback*.

Desta forma, o sistema projetado é capaz de suprir a demanda média diária energética do prédio, além de trazer retornos financeiros satisfatórios durante o horizonte de tempo avaliado, de modo que o projeto de instalação de um sistema fotovoltaico no prédio do Campus da Universidade se mostra viável, tanto pelo aspecto técnico, como pelo econômico.

#### **4. CONCLUSÃO**

Por meio da realização do presente estudo, foi possível notar o potencial energético solar ainda pouco explorado no Brasil. Ainda que a quantidade de novos negócios e sistemas fotovoltaicos instalados tenha aumentado consideravelmente nos últimos anos, é evidente a necessidade de se ter maiores investimentos e incentivos relacionados à esta fonte energética dentro do cenário nacional.

Fica claro que através de uma maior exploração da Energia Solar, o país pode aumentar ainda mais a representatividade de energias renováveis dentro de sua matriz energética, além de obter através disso diferentes benefícios econômicos, sociais, ambientais e estratégicos.

De modo geral, o projeto para se instalar um sistema fotovoltaico a fim de suprir a demanda energética de um dos prédios da Universidade se mostrou viável, tanto pelo aspecto técnico, como financeiro.

Uma vez que o sistema projetado é capaz de suprir a demanda energética do prédio (potencialmente superdimensionada), o telhado apresenta espaço suficiente para instalação dos painéis, e o inversor escolhido atende as especificações do sistema, o projeto pode ser considerado aplicável do ponto de vista técnico.

Ainda que o sistema venha a produzir mais energia do que a demanda do prédio, principalmente nos períodos de recesso escolar, este crédito pode ser acumulado e transferido para outros centros consumidores dentro da própria Universidade, de modo que o sistema projetado é incapaz de suprir toda a demanda energética do Campus, o que é positivo, uma vez que o mesmo deverá arcar com o custo de disponibilidade de energia, invariavelmente.

É preciso elencar algumas das potenciais fontes de erro que o presente estudo apresenta, dentre elas:

- Os dados de irradiação solar não remetem ao local exato de aplicação do estudo. Como aponta o próprio *sundata* da CRESESB, as informações apresentadas pelo programa são indicativas e possuem limitações, de modo que para avaliações mais precisas é recomendado medir a irradiação diretamente no local de interesse;
- A demanda energética do prédio utilizado como objeto de estudo foi estimada com base no agendamento de salas, podendo variar conforme o período letivo e necessidades pontuais;
- Algumas aproximações quanto aos custos de transporte, engenharia e instalação foram feitas;
- Os custos referentes à manutenção do sistema e documentações necessárias para instalação deste não foram considerados;
- A depreciação do sistema não foi considerada na análise financeira.

Um fator importante de se pontuar, remete à aplicabilidade do projeto para outras instalações do campus. Adequando os dados referentes à demanda energética, bem como à área disponível para instalação do sistema, o presente estudo serve como um direcionador para potenciais projetos futuros que possam ser desenvolvidos dentro da Universidade.

Além disso, por meio dos valores obtidos para os índices financeiros, o projeto se mostra viável economicamente, uma vez que apresenta um VPL maior que zero e a TIR acima da TMA, indicando que o investimento apresentaria rentabilidade financeira superior do que se o valor do projeto fosse investido em algum fundo de maior solidez e com um baixo risco.

Por meio do cálculo do *payback*, estipulou-se que o valor economizado pela injeção de energia na rede, em menos de 5 anos seria equivalente ao montante total investido na data zero, o que se encontra dentro de um prazo aceitável.

Posto que o kit fotovoltaico escolhido apresenta garantia do fabricante de 25 anos (exceto para o inversor), entende-se que a economia se daria também após o período de *payback*, o que representa um ganho excedente, tornando o investimento ainda mais viável. É válido ressaltar que o ganho financeiro mencionado não se trata de uma quantia recebida mensalmente, mas um valor que deixará de ser dispendido em detrimento da injeção de energia na rede.

Por fim, através do trabalho apresentado, estudos futuros podem ser desenvolvidos, abrangendo conceitos mais técnicos e aprofundados do que aqueles aqui apresentados. Espera-se que o presente estudo sirva como direcionador para projetos futuros, e que este, seja aplicado em um futuro próximo, seja para o prédio estudado ou para outras instalações dentro e fora da Universidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica: Status, Oportunidades e Desafios.** In: SEMINÁRIO AGRO EM QUESTÃO – Energias Renováveis, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. 2019, Brasília – DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição – SRD. **Geração Distribuída: regulamentação atual e processo de revisão.** 7 de fevereiro de 2019. Brasília.

ANDRADE, E. E. R. **Metodologia de implementação e avaliação de sistemas solar térmico e fotovoltaico: estudo de caso.** 2012. 101f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis - Conservação e Utilização Sustentáveis) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

ANEEL. Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Último acesso em agosto de 2019.

ANEEL. Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Último acesso em agosto de 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus: Relatório de Mercado – Expectativas do mercado.** 12 de julho de 2019. 3p.

BLUESOL. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica:** Livro digital de introdução aos sistemas solares. Disponível em: <<https://bluesol.com.br/curso-de-energia-solar/>>. Último acesso em agosto de 2019.

BRADSHAWA, A.; JANUZZI, G. M. **Governing energy transitions and regional economic development:** Evidence from three Brazilian states. Energy Policy, v. 126, 2019, 1-11. Nov. 2018.

BRASIL. Lei n. 12.796, de 4 de abril de 2013: altera a Lei n. 9.394 de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, para dispor sobre a formação dos profissionais da educação e dar outras providências. Brasília: Planalto Central, 2013.

BRASIL/MEC. Lei nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília: 20 de dezembro de 1996.

BRUNISHOLZ, M. **Snapshot of global photovoltaic markets.** International Energy Agency (IEA), PVPS, 2016.

CARI, E. P. T.; LEMES, F. **Curso de Energia Solar Fotovoltaica USP:** módulo I. 80p. Escola de engenharia de São Carlos – EESC USP. Abril de 2019. São Carlos.

CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K da. **Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil.** Energy Policy, v. 125, 2019, 396-404. Nov. 2018.

CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014.

CRESESB - Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito; **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Tutorial Solar, 2006.

FERREIRA, A. et al. **Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 81, 2018, 181-191. Jul. 2017.

GREENER. **Estudo estratégico: Mercado fotovoltaico de Geração Distribuída**. Jan. 2019. São Paulo – SP.

JANNUZZI, G. M. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. Instituto para o desenvolvimento de energias alternativas na América Latina, Campinas/SP, n.1, p.1-53, 2009.

KEMERICH, P.D., et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Rev Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.20, n.1, p.241-247, 2016.

LUNA, M. A. R. et al. **Solar Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: The Case of Resolution 482/2012**. In. APPLIED ENERGY SYMPOSIUM AND FORUM. Renewable Energy Integration with Mini/Microgrids - REM 2018. Set. 2018. Rhodes, Grécia. Energy Procedia, v. 159, 2019, 484-490.

TRIGOSO, F. M. et al. **Panorama da Geração Distribuída no Brasil baseado no uso da tecnologia solar fotovoltaica**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 1, n. 2, Setembro de 2010, 127-138. São Paulo - SP

VALLÊRA AM, BRITO MC. **Meio século de história fotovoltaica** [internet]. Lisboa, Gazeta da física, v. 29, 2006. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em 23 de março de 2018.

VENZON, M. **Proposta de utilização de energia solar para aquecimentos de água e fluentes para linhas tratamento de superfície na Atlas Indústria de Eletrodomésticos Ltda**. Lavras, MG. Universidade Federal de Lavras, 2004. 59 p.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. Sistemas isolados e conectados à rede**. 2ª Ed. 228 p. 2012. São Paulo. Érica.

WILEY. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. 2003. Chichester, Inglaterra.

## 6. PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Participação no curso de extensão universitária: Dimensionamento Avançado de Sistemas Fotovoltaicos Usando PVSYST;
- Participação no curso de extensão universitária: Introdução à Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento e Instalação;

## 7. AUTO-AVALIAÇÃO

Através do Programa oferecido, considero que pude desenvolver e aprofundar conhecimentos acerca de diferentes conceitos envolvendo eletricidade, energias renováveis e não renováveis, peças e módulos que compõem um sistema fotovoltaico, questões regulatórias e políticas de incentivos adotadas pelo governo.

Ao longo do desenvolvimento do projeto desenvolvi um olhar mais crítico até mesmo para os artigos e literatura aos quais obtive acesso, uma vez que muitos apresentam informações conflitantes (em alguns casos devido ao período de publicação do artigo), o que requer uma análise mais profunda e consistente para assegurar que as informações coletadas sejam o mais coesas possível.

Posso dizer que através do Programa, pude aprender a lidar melhor com prazos, comprometendo-me a fazer as entregas previstas sempre dentro do período estipulado. Além disso, através dos cursos realizados tive a oportunidade de me relacionar com pessoas que atuam na área de energia solar tanto na academia como no âmbito corporativo, o que além de ajudar a estabelecer um *networking*, trouxe diferentes pontos de vistas à respeito do tema.

Como potenciais melhorias, sinto que o projeto poderia ser desenvolvido de maneira mais clara e realista. Uma vez que não foram considerados alguns fatores como depreciação do sistema, quantidade de cabos, disjuntores, *stringbox*, além de questões referentes aos custos de implementação e

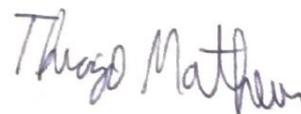
regulação, pode-se dizer que o trabalho possui um caráter mais teórico do que prático em si.

Além disso, em detrimento dos cursos realizados, tive contato com diversos fatores que devem ser considerados e dimensionados para a instalação de um sistema fotovoltaico, incluindo até mesmo a definição da bitola dos fios condutores à serem empregados. Esse e outros aspectos também não foram aplicados no projeto pois não me senti suficientemente seguro para botá-los em prática, temendo que eu pudesse me atrapalhar com questões referentes à prazo e a qualidade e clareza com a qual seriam expostos estes dados.

Outro ponto que poderia ser melhorado consiste na gestão do tempo disposto para realização das tarefas, que por sua vez, poderia ser feita de modo mais organizado e eficiente, através de um planejamento prévio.

Por fim, sou muito grato à todos que de alguma forma me auxiliaram ao longo deste projeto, não podendo deixar de mencionar meu pai, Engenheiro Eletricista que me deu várias dicas e *insights* à respeito do trabalho, minha irmã, Engenheira de Energia recém-formada que me ajudou com alguns conceitos e até fornecendo materiais sobre o tema, e principalmente, à minha professora orientadora Denise, pela paciência, atenção e dedicação, que nunca faltou mesmo com ela enfrentando uma situação singular em sua vida pessoal.

Espero poder desenvolver outros projetos futuramente que me ajudem a crescer no âmbito profissional, acadêmico e pessoal.



## **8. AVALIAÇÃO DA ORIENTADORA**

O aluno mostrou total autonomia, interesse e motivação durante todo o período do projeto. Ele pagou e fez um curso na USP de São Carlos totalmente pertinente a este projeto por iniciativa própria.

Ele me mandava as versões do relatório e todos os dados preliminares semanalmente e sempre estava disponível quando precisávamos marcar os encontros.

O aluno possui muito potencial acadêmico e pretende seguir este caminho, já está interessado no mestrado e irá permanecer na linha de pesquisa com foco em energias renováveis e sustentabilidade.

Ilheus Ap. T. G. Lopes

## **9. DESTINO DO ALUNO**

Irei me graduar em julho de 2020 e espero ingressar o quanto antes em algum programa de mestrado e quiçá, posteriormente, em um doutorado, tendo a ambição inclusive de atuar na área acadêmica no futuro. Estou em contato com alguns professores para saber como ingressar por meio do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção (PPGEP) em um mestrado dentro da própria UFSCar.

Dentre as ideias que possuo sobre um potencial projeto futuro à ser desenvolvido, sinto-me mais estimulado a desenvolver pesquisas relacionadas à sustentabilidade, seguindo de certa forma o tema proposto neste Programa. Tive algumas conversas com um professor a respeito de um projeto relacionado à logística reversa/economia circular, e com o término do Programa atual, irei focar em desenvolver melhor estes planos.